

Étienne-Jules Marey's experiments in rendering invisible air movements and turbulences visible are of crucial importance to aviation research around 1900. The article takes these experiments as a point of departure to show how vortices of smoke, produced by Marey's Machine à fumée, generated a visual knowledge of aerodynamic processes to promote human aviation. Moreover, it demonstrates that the (air) turbulences also entered into the experimental practice itself, thus turning into "epistemic turbulences". As such, they did not only challenge Marey's experimental setup and his ideal of utmost precision but also blurred the established oppositions between science and art. — Keywords: physiology, experiment, Étienne-Jules Marey, aviation, aesthetics

1 / Anlässlich des 100. Todestages von Étienne-Jules Marey (1830–1904) fand die erwähnte Ausstellung unter dem Titel *Mouvements de l'air, Étienne-Jules Marey, photographie des fluides* vom 19. Oktober 2004 bis 16. Januar 2005 im Musée d'Orsay in Paris statt. Neben den *Machines à fumée* wurden die zwischen 1913 und 1931 entstandenen Wolkenfotografien von Alfred Stieglitz ausgestellt.

Daniela Hahn, Tourbillons et turbulences. Zu einer Ästhetik des Experiments in Étienne-Jules Mareys *Machines à fumée*

1.

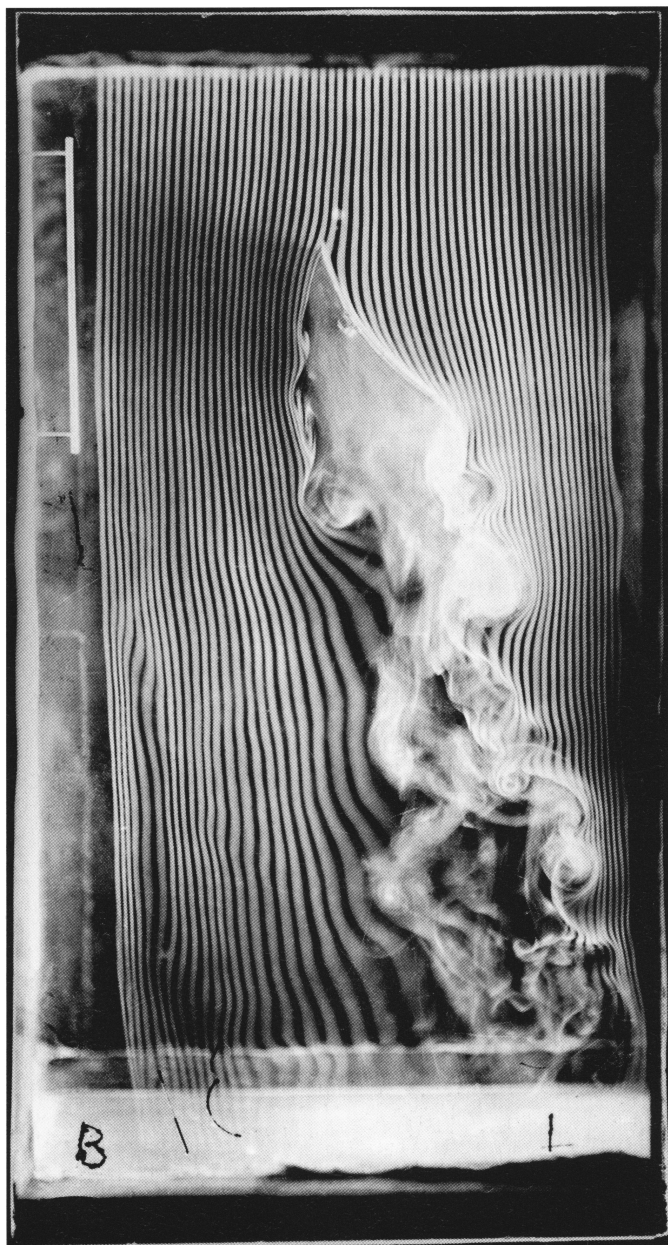
Betritt man den abgedunkelten Ausstellungsraum, so wird der Blick geradezu magisch von den beleuchteten Glasfenstern in der schwarzen Wand angezogen, hinter denen Ströme aus Rauch wie bewegte Malereien schweben. Dem Blick in die einzelnen Kammern enthüllt sich die Flüchtigkeit plastischer Formen: vor schwarzem Hintergrund mäandernde Rauchfäden, deren Bewegung sich erst offenbart, wenn die rauchigen Strömungen auf unbewegte Objekte verschiedener Form treffen, die sie umspielen, an denen sie sich brechen, sich zerteilen, verwirbeln. Das Fließen der Luft verwandelt sich in einen Flux der Bilder. Noch einen Schritt an den Fenstern vorbei und der Bilderfluss zerfällt wiederum in Einzelmomente: Die Wirbel der Luft sind nun fixiert auf (historischen) Fotografien, die in einem doppelten Sinne feststellen, was gewesen ist.^{1,2,3}

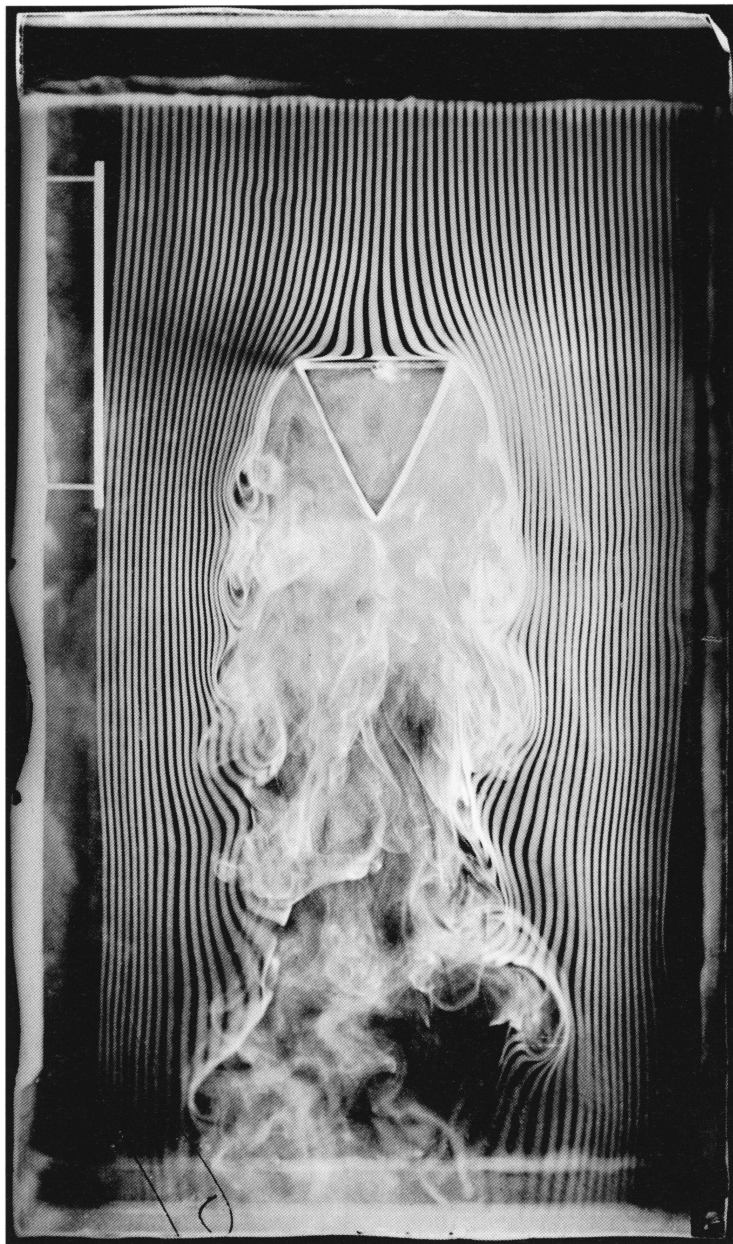
So präsentierte das Pariser Musée d'Orsay die 1999 von der Cinéma-thèque française realisierten Nachbauten der *Machine à fumée* Étienne-Jules Mareys und transformierte damit dessen wissenschaftliches Experiment zur Sichtbarmachung von Luftbewegungen in ein künstlerisches Projekt.¹ Die Apparatur, die Marey in der Sitzung vom 27. Mai 1900 vor Mitgliedern der Académie des Sciences nüchtern als ein zu erfüllendes experimentelles Programm beschreibt, erscheint uns heute als eine Bilder-Maschine, als ein Kaleidoskop von Luft-Formen. Die Frage, die das ‚Re-Enactment‘ der Luftexperimente im Musée d'Orsay mithin aufwirft, ist die nach der Grenze von Wissenschaft und Kunst, nach ihrer Verschiebung, ihrer tendenziellen Auflösung.

44-45
2-3 / 27

ilinx 1, 2009
Hahn, Tourbillons et turbulences

1

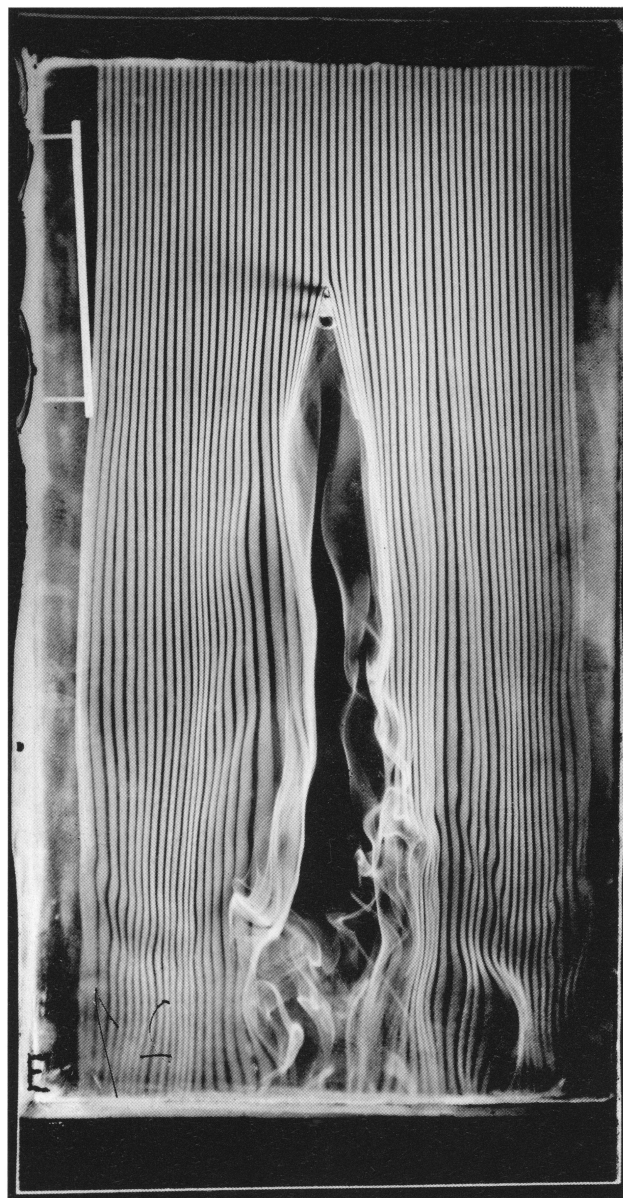




46-47
4-5 / 27

ilinx 1, 2009
Hahn, Tourbillons et turbulences

3



2 / Georges Didi-Huberman: „Le mouvement de toute chose“, in: ders. / Laurent Mannoni, *Mouvements de l'air*, Étienne-Jules Marey, *photographe des fluides*, Paris 2004, S. 180. [Die Übertragungen der französisch und englisch angegebenen Quellen ins Deutsche stammen von der Verfasserin.]

So fragt Georges Didi-Huberman in dem die Ausstellung begleitenden Band rhetorisch:

„Ist es folglich möglich, diese Fotografien unter dem Blickwinkel eines ‚Lyrismus‘ zu betrachten, wäre dies überhaupt neu? Und ist es legitim, in ihnen ‚Locken‘, ‚Tänze‘ oder ‚Phantasmagorien des Weiblichen‘ [féminités spectrales] wahrzunehmen? Ist es folglich nicht übertrieben, diese Bilder der Wissenschaft in die Welt der Kunst zu überführen? Bedeutet die Vorstellung einer *ästhetischen* Faszination nicht, zu den Fotografien ein phantasmatisches Mehr, einen Nachtrag, eine Qualität hinzu zu erfinden, die deren *epistemische* Ordnung der Erzeugung nicht nötig hat? Ist Marey mit seinen unzähligen Beobachtungen, Messungen, Schemata, Maschinen oder Experimentprotokollen nicht der unlyrischste Autor, den man sich vorstellen kann?“²

Werden das *Ästhetische* und das *Epistemische* der Luftexperimente und ihrer fotografischen Dokumentation hier auf eine Weise zusammengebracht, die sich vor allem als eine Verwandlung des wissenschaftlichen Bildrepertoires ins Schöne und Überbordende zu erkennen gibt, so möchte ich im Folgenden die Frage stellen, ob die Interferenzen zwischen Kunst und Wissenschaft im Œuvre Mareys jenseits des rezeptionsästhetischen Zugangs von Didi-Huberman anders wahrgenommen oder verstanden werden können, und zwar in Bezug auf die experimentelle Praxis selbst. In welcher Hinsicht ist dem Experimentieren Mareys mit den Bewegungen der Luft auf der Ebene der Epistemik ein Moment des Ästhetischen eingeschrieben? Und inwiefern lässt sich in Hinblick auf Mareys *Machine à fumée* und der mit ihr erzeugten Wirbel der Luft von einer „Ästhetik des Experiments“ sprechen?

Mit der *Machine à fumée* konstruiert Marey Ende der 1890er Jahre eine Apparatur, eine meteorologische Maschine, die auf künstliche Weise Luftströme und -wirbel erzeugt. Sie kann demnach als eine Simulationsmaschine gelten, die auf die Frage Antwort geben soll, wie sich Luftströme beim Auftreffen auf einen Körper verhalten – eine Frage, die in

3 / Vgl. hinsichtlich einer ‚Ästhetik der Selbsttätigkeit‘ Friedrich Weltzien (Hg.): *von selbst. Autopoietische Verfahren in der Ästhetik des 19. Jahrhunderts*, Berlin 2006.

4 / Zu „Szenen des Wissens“ vgl. Helmar Schramm et al. (Hg.): *Bühnen des Wissens. Interferenzen zwischen Wissenschaft und Kunst*, Berlin 2003 sowie ders. / Ludger Schwarte / Jan Lazardzig (Hg.): *Spektakuläre Experimente. Praktiken der Evidenzproduktion im 17. Jahrhundert*, Berlin / New York 2006. Zum Paradigma der Sichtbarmachung bei Marey vgl. Joel Snyder: „Sichtbarmachung und Sichtbarkeit“, in: Peter Geimer (Hg.), *Ordnungen der Sichtbarkeit. Fotografie in Wissenschaft, Kunst und Technologie*, Frankfurt a. M. 2002.

5 / Michel Serres: *Hermes IV. Verteilung* [1977], Berlin 1993, S. 7.

fundamentaler Weise die Flugforschung der Zeit um 1900 berührt. Trotz der Konstruiertheit und Artifizialität der Wirbelphänomene, die Marey in seiner Rauchkammer produziert, erhalten diese den Status von ‚natürlichen‘ Phänomenen, welche die selbsttätigen Kräfte der Natur vorführen, indem sie sich ohne Vermittlung des Experimentators ‚von selbst‘ auf der fotografischen Platte aufzeichnen.³ Aufgrund der ihr eigenen technischen Raffiniertheit stellt die *Machine à fumée* sowohl eine epistemische Experimentiermaschine als auch eine Kunstmaschine dar, die als eine Szene der Evidenz begriffen werden kann, auf der die Wirbel der Luft nicht nur zur Erscheinung gebracht werden, sondern in ihrer beständigen Metamorphose ebenso eine autopoietische Kraft entfalten. Unter dem Begriff der Evidenz sei dabei nicht in erster Linie das Augenscheinliche verstanden, also das, was klar und offensichtlich gegeben ist. Evidenz bezeichnet vielmehr einen Prozess des (instrumentenbasierten) *In-Erscheinung-Bringens*, der *In-Szenierung*, der Herstellung von Sichtbarkeit im Experiment, der auf die Gewinnung von Erkenntnis gerichtet ist.⁴ Begreift man die *Machine à fumée* als *Szene*, als Ort des Sichtbarwerdens, so gewinnt nicht nur das Sichtbare an Bedeutung, das immer nur Zonen mit beweglichen Grenzen markiert, sondern auch dasjenige, was sich an den Rändern der Szene zerstreut, undeutlich bzw. unsichtbar wird oder bleibt. Der Luftwirbel – *tourbillon* – macht diesen Zusammenhang als Figur sinnfällig: Er ist Form, doch er besitzt fließende Ränder, an denen sich Turbulenzen ergeben können. „Am Anfang“, schreibt Michel Serres in *Hermes IV. Verteilung*, „ist das Undifferenzierbare, über das niemand Information besitzen kann. Das mag man als ‚Wolke‘ bezeichnen. Eine Menge von Punkten, Atomen oder Molekülen, von gänzlich beliebigen Elementen, deren Verhalten unbekannt ist, eine Wolke mit unscharfen, fließenden, verschwimmenden Rändern. [...] Diese Wettererscheinung ist das Modell eines Wissens, das kurz vor Beginn des Jahrhunderts entstand, als die Systeme verblaßten [...]“.“⁵

6 / Ebd., S. 34.

7 / Vgl. Michel Serres: *La naissance de la physique. Fleuves et turbulences*, Paris 1977 (vgl. auszugsweise Übersetzung im vorliegenden Band S. 287–304) sowie Stephen Clucas: „Liquid History. Serres and Lucretius“, in: Niran Abbas (Hg.), *Mapping Michel Serres*, Michigan 2005, S. 72–83.

Die Figur des Wirbels kann somit analog zur Wolke gedacht werden, die – als ein Modell des Wissens – für Serres am Beginn der Verschiebung von Wissenskulturen um 1900 steht:

„Geschlossen, offen, stabil, instabil, abgegrenzt oder unbestimmt. Es sieht so aus, als wäre das Entscheidende eine Epistemologie der Ultrastruktur oder der Interstrukturen. Ränder, Nachbargebiete, Membranen, Verbindungen, Umgebungen, Regulierung.“⁶

Die Wolke als Figur der ‚Verteilung‘ verweist bei Serres auf einen Prozess innerhalb der Wissensgeschichte, der sich als eine Auflösung fester, lokalisierbarer Wissensorte hin zu einer Interferenz von Wissensfeldern und der Beweglichkeit ihrer Grenzen beschreiben lässt. Orientiert an Figuren des Flüssigen und Turbulenten, die Serres aus der Relektüre von Lukrez’ *De rerum natura* gewinnt, entsteht im Schreiben eine komplexe, turbulente und chaotische Topologie, in der Kunst und Wissenschaft, Poesie und Mathematik, Lukrez und die Chaostheorie des 20. Jahrhunderts interferieren (im Sinne von ‚ineinanderfalten‘, ‚verwirbeln‘).

Der Gedanke, das meteorologische Phänomen des Wirbels als Modell einer Renarration der Geschichte des Wissens zu entfalten, den Serres in *La naissance de la physique* entwickelt,⁷ soll hier auf die Frage nach den Interferenzen von Kunst und Wissenschaft in Mareys Experimentieren sowie die nach den Turbulenzen seiner experimentellen Praxis selbst gewendet werden. Die Wirbel, die in den Luftexperimenten Mareys zur Erscheinung kommen, können – so die These des Beitrags – einerseits als ein *Interferenz*phänomen verstanden werden, das Resonanzen zwischen Kunst und Wissenschaft erzeugt; zugleich werden sie andererseits als ein *Turbulenz*phänomen greifbar, das Mareys Experimentalordnung grundlegend auf die Probe stellt. Die Geschichte dieser Experimente beginnt jedoch nicht in der Luft, sondern in einem anderen Medium: dem Wasser.

8 / Zu *La Vague* vgl. Dominique de Font-Réaulx: „Vagues fixes et en mouvement, autour du filme *La Vague* d'Étienne-Jules Marey“, in: ders. / Thierry Lefebvre / Laurent Mannoni (Hg.), *EJ Marey. Actes du colloque du centenaire*, Paris 2006, S. 49–60.

9 / Étienne-Jules Marey: „La Chronophotographie. Nouvelle méthode pour analyser le mouvement dans les sciences physiques et naturelles“, in: *Revue générale des sciences pures et appliquées* 21 (15. November 1891), S. 689–719, hier S. 699.

10 / Im Gegensatz zu den Bildern von *La Vague*, die sich heute im Archiv des Centre National de la Cinématographie (Bois-d'Arcy) befinden, sind die Wolkenaufnahmen Mareys nicht erhalten.

11 / Vgl. Hans-Jörg Rheinberger: *Historische Epistemologie zur Einführung*, Hamburg 2007, S. 11.

II.

Neapel 1891. Mit seiner Kamera macht sich Étienne-Jules Marey auf den Weg in die Stadtbucht, um dort Meereswellen fotografisch aufzuzeichnen. Auf einen Schulterriemen geschnallt trägt er einen hölzernen Dreifuß, auf den eine tragbare Kastenkamera, der von ihm konstruierte Chronofotograf mit beweglichem Film, montiert wird. Sein Objektiv richtet Marey auf die sich an den Felsen brechenden Wellen, welche sich wie ‚von selbst‘ auf die fotografische Platte einzeichnen sollen; im Hintergrund des Bildes sind undeutlich die Häuser der Stadt erkennbar, die als gebautes, statisches Arrangement einen Kontrapunkt zu den heftigen Bewegungen der Natur im Bildvordergrund darstellen.⁸ Die ersten Aufnahmen jener Meereswellen veröffentlicht Marey im November des gleichen Jahres in einem grundlegenden Beitrag zur Chronofotografie als neuer Methode der Bewegungsforschung: Auf den Bildern, so Marey, könne man den Phasen der Bewegung einer an die Felsen schlagenden Welle folgen: „Die Welle steigt zunächst, bedeckt den Felsen mit schäumender Gischt und zieht sich dann zurück. Die heftige Bewegung des Meeres beruhigt sich nach und nach.“⁹

So ungewöhnlich sich das Motiv der filmischen Fotografie *La Vague* (ebenso wie die 1892 entstandenen Fotografien von Wolken)¹⁰ im Werk des französischen Mediziners und Physiologen ausnimmt, so folgt es doch der Logik des dem Œuvre Mareys zugrunde liegenden universalistischen Anspruchs, ein umfassendes Archiv von Bewegungen zu erstellen. Apparativ-medial im Experiment erzeugt, sollte dieses Bewegungsarchiv eine Epistemologie der Physiologie (im Sinne einer Reflexion der Mittel, mit denen Dinge zu Objekten des Wissens gemacht werden) fundieren,¹¹ die Marey zu immer neuen Bewegungsphänomenen und immer neuen Methoden ihrer Aufzeichnung und Analyse führte.

12 / Bei dieser Konstruktion profitiert Marey wesentlich von zwei zeitgenössischen Erfindungen: zum einen von der erhöhten Lichtempfindlichkeit der fotografischen Oberflächen durch die Verfügbarkeit von Bromsilbergelatine seit Anfang der 1880er Jahre, zum anderen von der Erfindung des ersten Zelluloidfilms durch die Firma Kodak um 1890. Vgl. Laurent Mannoni: *Étienne-Jules Marey. La mémoire de l'œil*, Paris 1999, S. 238f. Diese Entwicklung, in deren Folge die Länge bzw. Kürze des Aufnahmемoments zur Determinante wird, bezeichnet Michel Frizot als „Einführung der Geschwindigkeit“ in die Fotografie. Vgl. Michel Frizot: „Vitesse de la photographie. Le mouvement et la durée“, in: ders. (Hg.), *Nouvelle histoire de la photographie*, Paris 1995, S. 242–257.

13 / Vgl. Gilles Deleuze: *Das Bewegungs-Bild. Kino 1*, Frankfurt a. M. 1989, insbes. S. 13–26.

14 / Étienne-Jules Marey: *Le Mouvement*, Paris 1894, S. 297.

Möglich werden jene Aufnahmen der Bewegung der Meereswellen durch die technische Erzeugung des Augenblicks in der Fotografie. Ende der 1880er Jahre verfolgt Marey in seinen ingenieurtechnischen Arbeiten das Ziel der Konstruktion einer Kamera, bei der die Belichtungsdauer durch eine höhere Lichtempfindlichkeit der fotografischen Materialien verkürzt und die Überlagerung von Bildern durch einen in regelmäßiger Frequenz ablaufenden Transportmechanismus der Fotoplatten vermieden werden konnte.¹² Zuvor führte die Unbeweglichkeit der einzeln verwendetenlichtsensiblen Oberflächen und die daraus folgende Festlegung auf eine lange Belichtungsdauer zu verschwommenen, unscharfen und oft ‚unlesbaren‘ Bildern, indem sich der Raum und die Zeit, die eine Bewegung einnimmt, als kontinuierliche, sich überlagernde Spur über die Fotoplatte verteilt. Der Augenblick, d. h. jener Moment einer ausreichend kurzen Belichtungsdauer, der von der Bewegungsgeschwindigkeit des aufzunehmenden Phänomens bestimmt wird, durchschneidet das Kontinuum der Bewegung. Durch das Verfahren der Serialisierung von Bildern, der Setzung von Schnitten, von Momentaufnahmen in gleichem Zeitabstand, auf dem die Chronofotografie basiert, entsteht jedoch ein Eindruck von Kontinuität, wobei sich an einem beliebigen Moment in der Zeit das Ganze der Bewegung abbildet.¹³

Der Augenblick stellt den Effekt eines technischen Dispositivs dar, das die Geschwindigkeit der Apparatur mit der des Phänomens synchronisiert. Durch die Verschaltung zweier Bewegungen – der des Phänomens und der der Aufnahmeapparatur – wird die Flüchtigkeit der Bewegungen in eine Verdichtung im Augenblick überführt: „Das Objekt“, formuliert Marey in *Le Mouvement*, „erscheint in jeder seiner Haltungen unbeweglich, und die Bewegungen, die sukzessiv aufeinander folgen, werden zu einer Serie von Bildern vereinigt, so als ob sie alle im gleichen Augenblick simultan ausgeführt worden seien.“¹⁴ Die Chronofotografie als „Photographie der

15 / „Und doch sind die Chronophographien auch ihrerseits sehr wohl Figurationen der Zeit. Im Übrigen gründete der von Marey im Jahr 1887 vorgenommene Terminologiewechsel von der *Photochronographie* zur *Chronophotographie* in dem Bewusstsein eines – aufgrund der technologischen Differenzierung ermöglichten – Übergangs von der ‚Chronographie‘ (der graphischen Aufzeichnung) mit den Mitteln der Photographie zur ‚Photographie der Zeit‘ (Chronophotographie), die eine strategische Ausrichtung auf die Zeit und nicht mehr auf ein Phänomen hat.“ Michel Frizot: „Notation als graphische Darstellung und ästhetischer Sprung“, in: Hubertus Amelunxen / Dieter Appelt / Peter Weibel (Hg.), *Notation. Kalkül und Form in den Künsten*, Berlin 2008, S. 55–67, hier S. 61.

16 / Vgl. Étienne-Jules Marey: „Le mouvement des liquides étudié par la Chronophotographie“, in: *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 1. Mai 1893, S. 913–924.

Zeit“¹⁵ liefert auf diese Weise ein indirektes Bild der Zeit, ein „Bewegungsbild“ im Sinne von Deleuze, durch die Sukzession von Bildern, die ein Vorher und Nachher von Bewegungen konstituieren.

La Vague zeigt Meer, Gischt, Wellen, Schäumen, Unordnung – und das fotografische Experiment Mareys sucht diese in eine räumliche und zeitliche Ordnung zu überführen: Gibt es etwas Regelhaftes in dieser Unregelmäßigkeit? Wie lassen sich diese Bewegungsmuster zur Erscheinung bringen? Ist die „Verteilung“ von Atomen und Molekülen eine Zufallsverteilung, eine Verteilung ohne Struktur, oder lassen sich doch Zonen, Inseln des Geordnetseins bestimmen und sichtbar machen?

La Vague markiert mithin einen doppelten Übergang in den Arbeiten Mareys. Hatte er bereits seit Mitte der 1880er Jahre in dem von ihm ins Leben gerufenen ‚Außenlabor‘, der ‚Station physiologique‘ am Pariser Bois de Boulogne, unter freiem Himmel geforscht, so bewegt er sich für *La Vague* nicht nur vom Inneren des Laboratoriums nach draußen, sondern er tritt auch bewusst aus den üblichen Kontexten der Forschung heraus, um einen anderen Blick zu evozieren. Mit diesem anderen Blick geht ein weiterer Übergang einher, nämlich jener von der Untersuchung der Fortbewegung von Lebewesen hin zu einer Erforschung der Bewegungen der Medien selbst: dem Wasser und der Luft.

III.

Dem Ausflug in die Bucht von Neapel folgt der Rückzug ins Labor und auf eine gläserne Experimentalanordnung *in vitro*, die Marey dazu dienen soll, die Bewegungen des Wassers, seiner Wellen und Strudel, sichtbar zu machen.¹⁶ Bereits 1893/94 erwähnt Marey das Projekt, diese durch die Chronofotografie gestützten Experimente zu den Bewegungen des Wassers auf die Bewegungen der Luft übertragen und seine zuvor gewonne-

17 / Zu einer „Biografie“ dieser Experimente vgl. Laurent Mannoni: „Marey Aéronaute. De la méthode graphique à la soufflerie aérodynamique“, in: ders. / Didi-Huberman, *Mouvements de l'air*, S. 5–86.

18 / Étienne-Jules Marey: *Le vol des oiseaux*, Paris 1890, S. 258.

nen Methoden der Visualisierung flüchtiger Bewegungen an der Luft erproben zu wollen: von den Wellen des Wassers zu den Wirbeln der Luft. Daraufhin beginnt Marey 1897 mit der Konstruktion einer technischen Apparatur, mittels derer die Verwirbelungen der Luft der (visuellen) Wahrnehmung zugänglich gemacht werden sollen.¹⁷ Zwei Desiderate der Forschung sind es, von denen Mareys Versuche dabei ihren Ausgang nehmen: in Hinblick auf offene Fragen seiner eigenen Forschung sowie bezogen auf den Kontext zeitgenössischer Studien zu den Bewegungen des Wassers und der Luft.

Seine Luftexperimente können somit erstens als Versuche der Lösung eines epistemologischen Problems gelten, das in früheren Untersuchungen Mareys zum Vogelflug offen geblieben war. Diese hatten gezeigt, dass zur Erklärung der Flugmechanik nicht nur die Kenntnis der Flügelbewegungen, die Kinematik des Flugs notwendig sei, sondern dass Flugphänomene ohne die Berücksichtigung des Luftwiderstands (und das heißt der Eigenbewegung der Luft als Medium, in dem sich der fliegende Körper bewegt und das auf ihn einwirkt) nur unvollständig verstanden werden können. Nach dem Tod des deutschen Flugingenieurs Otto Lilienthal im Jahr 1896 schien der Erfolg der Konstruktionsversuche von Flugmaschinen umso mehr an den Fortgang der Untersuchungen zum Widerstand der Luft und ihren turbulenten Bewegungen gebunden. Von den Experimenten mit der Luft erhofft sich Marey mithin Aufklärung über das Verhalten von Luftströmen beim Auftreffen auf geneigte und parallele Oberflächen:

„Wie bewegt sich die Luft, die der Flügel schlägt und von der er sich abstößt, um den Vogel zu stützen und fortzubewegen? Bewegt sie sich nach unten und behält noch einige Zeit die durch die Flügelbewegung erzeugte Geschwindigkeit bei? Formt sie Wirbel, deren Bewegungen verlöschen, indem sie diese an die umgebenden Luftmassen abgibt? Bricht sie sich an der Oberfläche des Flügels in einem Winkel, der dem Einfallswinkel gleich ist, wie es Newton behauptete?“¹⁸

19 / Ebd., Vorwort, S. XII.

20 / Vgl. Étienne-Jules Marey: *La méthode graphique dans les sciences expérimentales et particulièrement en physiologie et médecine*, Paris o. J. [1878], S. I–III.

21 / Marey, *Le mouvement des liquides*, S. 914.

Die Forschungen der Physiker zum Problem des Luftwiderstands seien, so Marey, bisher allerdings nur unter sehr einfachen Bedingungen realisiert worden: „Sie wurden an dünnen, festen Oberflächen mit genau definierten geometrischen Formen durchgeführt: Diese Oberflächen waren immer auf die gleiche Weise ausgerichtet, in Hinblick auf ihre Bewegungsrichtung; zudem war ihre Geschwindigkeit immer gleich.“¹⁹ Fokussierte Marey in *Le vol des oiseaux* das Problem des Luftwiderstands noch in Hinsicht auf die Flügelbewegungen, so geht er in den Experimenten mit der *Machine à fumée* über diese früheren Studien hinaus, indem er hier nicht mehr mit der Nachahmung des Vogelflugs operiert, sondern eine vom Flugkörper abstrahierende Experimentalanordnung ersinnt, in der Objekte verschiedener Form den Platz eines Flügels einnehmen.

Aufgrund der Mangelhaftigkeit der Sinne sowie der Unzulänglichkeit und Unklarheit der Sprache würden die unsichtbaren und flüchtigen Phänomene, die sich beim Auftreffen der Luft auf jene Objekte produzieren, ohne Präzisionsinstrumente und Aufschreibearraturen jedoch unzugänglich bleiben.²⁰ Mareys Experimentieren beginnt zweitens also mit dem Ziel, die bereits bestehenden (mathematisch-physikalischen) Beobachtungen und Theorien zu den Wirbeln des Wassers (und später der Bewegungen der Luft) durch Visualisierung auf eine neue experimentelle Grundlage zu stellen:

„Die Mathematiker, die sich der Analyse der Wellen, die an der Wasseroberfläche entstehen, und der Ströme und Wirbel, die sich in dessen Tiefe bilden, widmen, haben es immer bedauert, über keine andere experimentelle Grundlage zu verfügen als über jenes ungenaue Wissen, das ihnen die einfache Beobachtung liefert. Das Spiel des Lichts auf der Wasseroberfläche und die Bewegung kleiner, in der Flüssigkeit schwebender Körper sind zu flüchtige Phänomene, als dass unser Auge sie genau erfassen könnte; das ist der Grund, warum ich versucht habe, deren Eigenschaften mithilfe der Chronophotographie festzuhalten.“²¹

22 / Mannoni, *La mémoire de l'œil*, S. 55.

23 / Vgl. Henri Poincaré: *Théorie des tourbillons. Leçons professées pendant le deuxième semestre 1891–92*, Paris 1893, S. 1.

24 / Étienne-Jules Marey: „Changements de direction et de vitesse d'un courant d'air qui rencontre des corps de formes diverses“, in: *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences* 132 (1901), S. 1291.

Für Marey erhalten Theorien ihre Evidenzkraft, wenn sie an eine Sichtbarmachung der Phänomene gekoppelt sind. Experimentieren bedeutet Visualisieren. Die Einsicht, dass Grafiken und Bilder Sachverhalte erst erzeugen, hervorbringen, transformieren und organisieren, ist somit zentral für das Werk Mareys. Es steht für eine neue, instrumentell gestützte Beobachtungskunst, die durch die Produktion überraschender Einsichten und ungewohnter Perspektiven epistemische und ästhetische Effekte hervorbringt. Das Wissen, das Marey in seinen Experimenten generiert, ist ein visuelles Wissen, ein « savoir voir ».²²

Mit der Bezugnahme auf existierende Wirbeltheorien situiert sich Marey im Rahmen der Turbulenzforschung der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, deren Beginn mit Hermann von Helmholtz' Wirbelsatz (1858) datiert werden kann,²³ und zugleich in der Chronologie der „Evolution einer gerade erst geborenen Methode“²⁴ der Sichtbarmachung von Luftströmen. In der Zeit um 1900, in der auch Marey seine Experimente zu den Luftbewegungen realisiert, häufen sich Theorien, die aus der Sicht der Hydro- bzw. Aerodynamik nach Verfahren der Beschreibung und Erklärung von Wirbeln, Strömungen und Turbulenzen flüssiger oder gasförmiger Medien forschten. C. Weyhers *Nouvelles expériences sur les tourbillons* (1891), Henri Poincarés *Théorie des tourbillons* (1893), Joseph Boussinesqs *Théorie de l'écoulement tourbillonnant et tumultueux des liquides* (1897), Henry S. Hele-Shaws Untersuchungen zur *Motion of a Perfect Liquid* (1899), Pierre Duhems *Recherches sur l'hydrodynamique* (1903/04) sowie Ludwig Prandtls Arbeiten zur Flüssigkeitsbewegung und Turbulenzforschung sind nur Beispiele einer Vielzahl von Publikationen, die sich um die Jahrhundertwende mit der Analyse der Ströme und Wirbel von Flüssigkeiten beschäftigen. Hinsichtlich der Luftwirbel kommt darüber hinaus den maßgeblichen Untersuchungen zu den Bewegungen der Luft – den Versuchen Ernst und Ludwig Machs an fliegenden Projektilen oder

25 / Étienne-Jules Marey: „Les mouvements de l'air étudié par la chronophotographie“, in: *La Nature. Revue des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie* 7. September (1901), S. 232–234, hier S. 232.

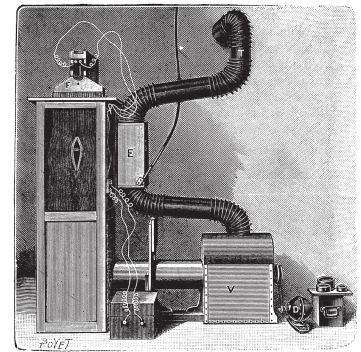
der von August Toepler entwickelten Schlierenmethode eine besondere Bedeutung zu. Inwiefern Marey alle diese Theorien gekannt oder rezipiert hat, ist unbekannt; er selbst erwähnt lediglich die Versuche von Boussinesq, Schlieren, Hele-Shaw und Mach, aufgrund der engen Verbindung, die diese hinsichtlich der Visualisierung flüchtiger Phänomene zu seinen eigenen Experimenten aufwiesen.

Mareys Versuche über die Bewegungen der Luft, zu denen er in nur vier kurzen Zeitschriftenbeiträgen Auskunft gibt, konzentrieren sich auf die Entwicklung einer Art Strömungslaboratorium, der *Machine à fumée*, und die Suche nach ihrer stetigen Perfektionierung. 1901 schreibt er:

„Seit langem habe ich diese Untersuchung [zu den Bewegungen der Luft] mithilfe nicht perfekter Apparaturen verfolgt; erst vor kurzer Zeit ist es mir gelungen, eine Methode zu entwickeln, deren Ergebnisse vielversprechend sind.“²⁵

Zum Zweck der Sichtbarmachung der Luftströmungen denkt Marey – analog zu seiner Idee, die Bewegungen des Wassers mithilfe von versilberten, das Licht reflektierenden Wackskügelchen, die im Wasser schwimmen, zu untersuchen – zunächst an die Verwendung von leichten Federn oder Staubpartikeln, die in der Luft schweben und im Sonnenlicht die kleinsten Bewegungen der Luft mitvollziehen:

„Die Chronophotographie könnte ebenso Anwendung bei der Untersuchung der Bewegungen der Luft finden und zeigen, auf welche Weise sich die gasförmigen Fäden verhalten, wenn sie auf Hindernisse verschiedener Form treffen. Ein Gebläse, das in einem Glasrohr eine Luftzirkulation erzeugt, wobei in der



26 / Marey, *Le mouvement des liquides*, S. 923.

27 / In *Le vol des oiseaux* beschreibt Marey die Müller'schen Versuche folgendermaßen: „Müller konstruierte kleine mechanische Apparaturen, bei denen das Loslassen einer Feder eine heftige und kurze Bewegung bei einer Art Flügel auslöste. Die Bewegungen, die dieser Flügel Schlag in der Luft produzierte, wurden bei Tageslicht mithilfe von Rauch und bei Dunkelheit mithilfe phosphoreszierender Dämpfe sichtbar gemacht.“ Marey, *Le vol des oiseaux*, S. 259.

28 / Zit. n. Mannoni, Marey *Aéronaute*, S. 39.

29 / Marey, *Changements de direction*, S. 1292.

Luft stark belichtete Daunenfloken schweben, würde die notwendigen Bedingungen für die Durchführung dieser Studien bereitstellen.“²⁶

In seinem Buch *Le vol des oiseaux* (1890) verweist Marey auf die französischen Flugingenieure Alphonse Pénaud und Hureau de Villeneuve, die zum Studium der Luftbewegungen ein ähnliches Verfahren vorgeschlagen hatten. Im Kapitel zum Luftwiderstand führt Marey darüber hinaus Versuche des deutschen Mathematikers Emil Müller an, von denen er vermutlich Mitte der 1880er Jahre Kenntnis erhält und welchen er die Heuristik seiner eigenen Methode verdankt.²⁷ An seinen Assistenten Georges Demeny schreibt Marey diesbezüglich Ende Dezember 1886: „Ein Bericht über die Einwirkung eines Flügels auf die Luft hat mein Interesse geweckt. Der Autor hat die Luft mithilfe von Rauch oder Phosphordampf zur Erscheinung gebracht – eine Methode, das Unsichtbare sichtbar zu machen, die ich sehr verführerisch finde.“²⁸ Dass die Konstruktion einer Strömungsmaschine in der Luft lag, zeigt auch die Beschreibung eines von Ludwig Mach realisierten Experiments, die Marey 1901 in einer Notiz an die Académie des Sciences gibt:

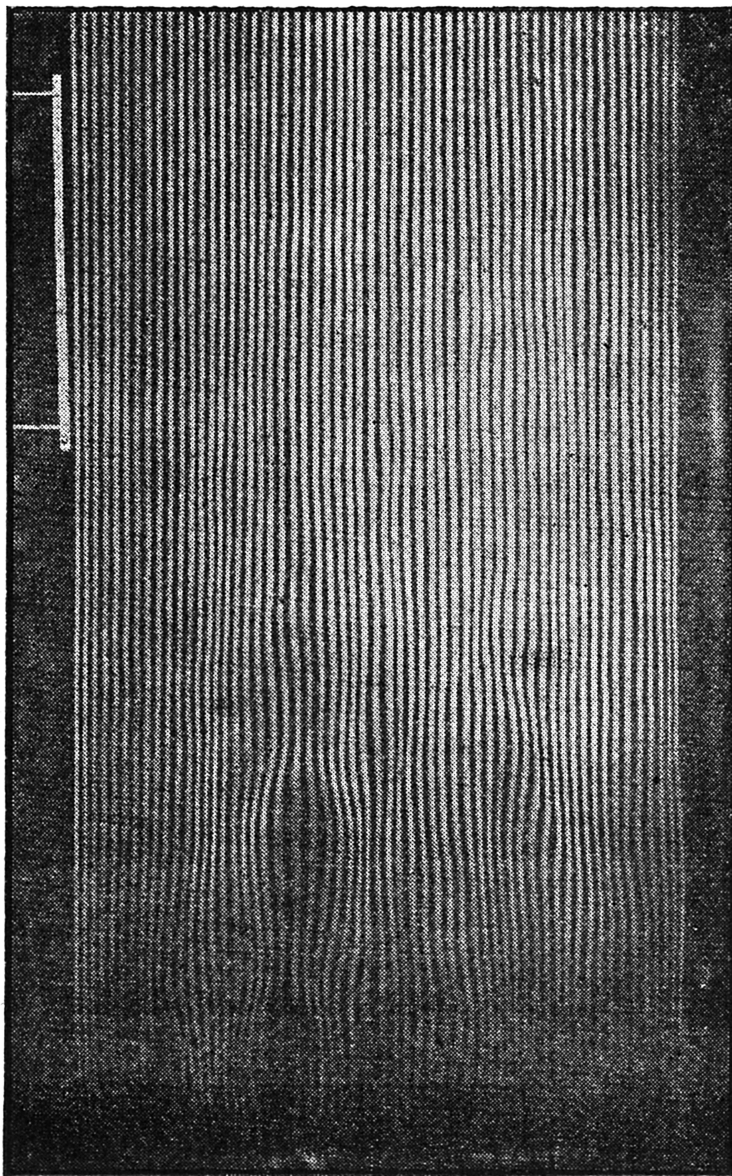
„Mittels einer Ansaugturbine leitete der Autor Luftströme in ein viereckiges prismatisches Gefäß mit den Maßen 18 cm x 24 cm ein. Die zum Beobachter gewandte Seite des Gefäßes bestand aus transparentem Glas; die geschwärmte Rückseite bildete einen dunklen Hintergrund; das Innere des Gefäßes wurde durch das Licht einer Bogenlampe beleuchtet. Herr Mach platzierte transparente Objekte verschiedener Form in den Luftstrom. Er griff auf verschiedene Mittel zurück, um die Bewegungen der Luft, die sich um die Objekte herum bildeten, sichtbar zu machen; mal ließ er leichte Stücke von Seidenpapier in der Luft schweben, mal verwendete er feine Staubteilchen, blies Rauch ein oder hängte bewegliche Seidenfäden auf [...]“²⁹

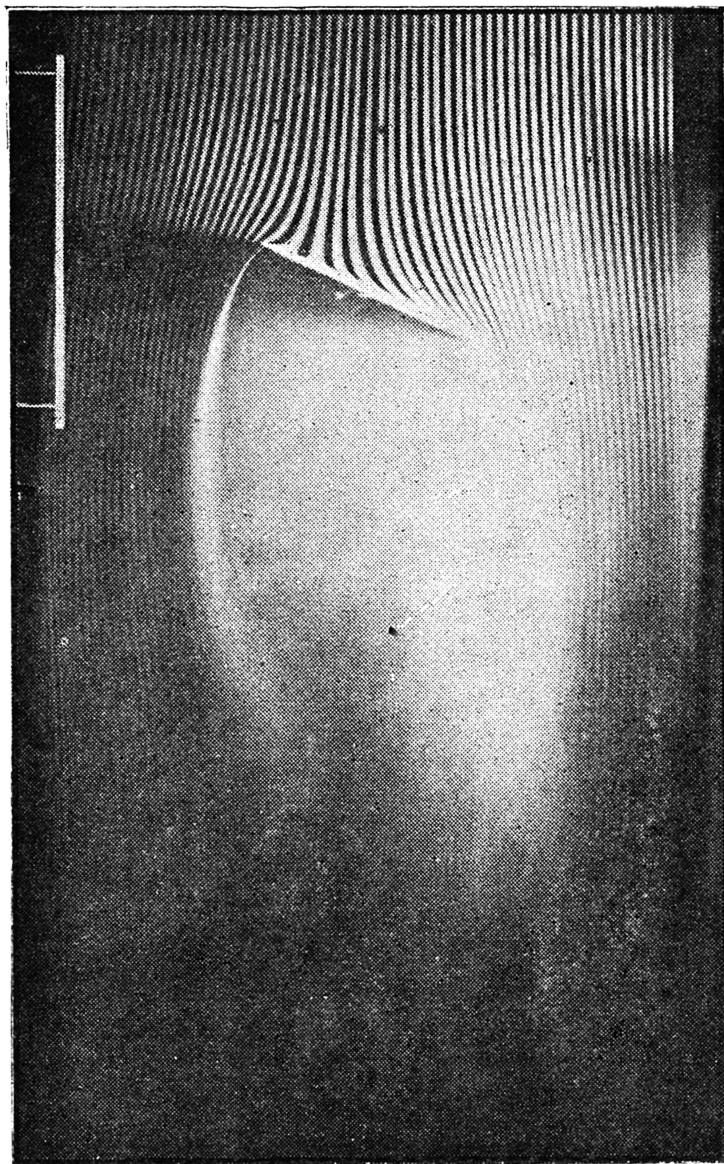
Marey verweist zwar sogleich darauf, dass er von der Methode Machs erst nach der ersten öffentlichen Präsentation der *Machine à fumée* im Jahr 1900 Kenntnis erhalten habe, doch die Ähnlichkeit zu seiner eigenen

58-59
16-17 / 27

ilinx 1, 2009
Hahn, Tourbillons et turbulences

5

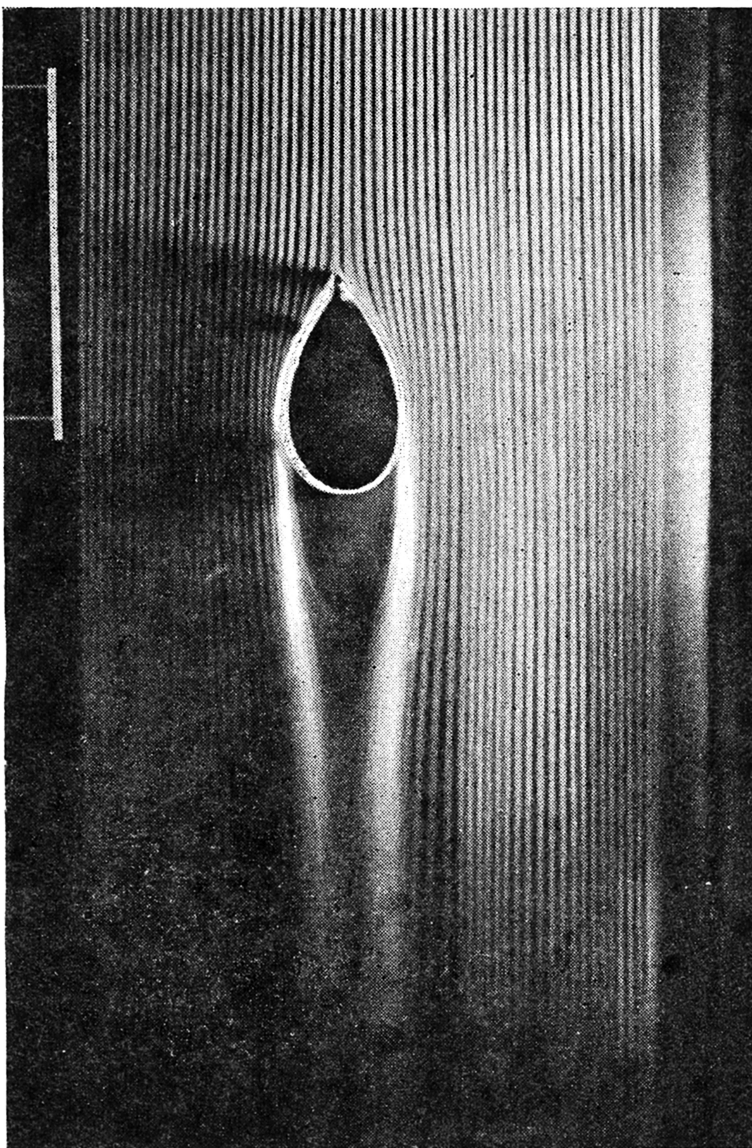


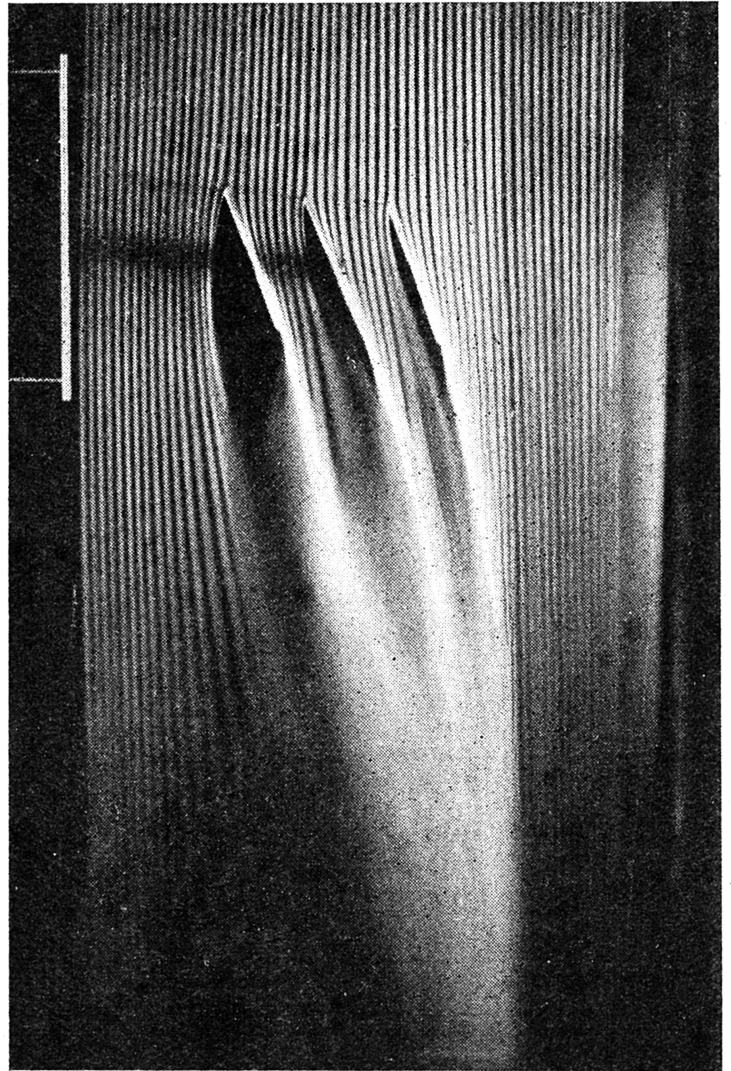


60-61
18-19 / 27

ilinx 1, 2009
Hahn, Tourbillons et turbulences

7





30 / Hinsichtlich der Anzahl der Röhrchen gibt Marey an, seine erste Maschine habe 20, die darauf folgende 58 dieser Röhrchen besessen. In seinem Artikel in *La Nature* spricht Marey sogar von 60 Röhrchen. Bei genauer Betrachtung der existierenden Abbildungen der Maschinen ergibt sich jedoch eine andere Anzahl: eine Apparatur mit 21 (die von Marey mit 20 Röhrchen bezifferte Maschine) sowie mit 57 Röhrchen (Marey spricht von 58). Vgl. Mannoni, Marey *Aéronaute*, S. 45 f.

31 / Marey, *Changements de direction*, S. 1295.

32 / Étienne-Jules Marey: „Des mouvements de l'air lorsqu'il rencontre des surfaces de différentes formes“, in: *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences* 131 (1900), S. 160–163, hier S. 161.

33 / Die Konstruktion einer „fotografischen Flinte“ (»fusil photographique«), die Marey 1882 nach dem Modell von Jules Janssen baute, konkretisiert diesen Zusammenhang zwischen der Fotografie und einer Metaphorik des Schießens.

Apparatur ist frappierend.⁴ Diese besteht aus einem rechteckigen Gefäß, einer Art Strömungskanal, 50 cm breit und 75 cm hoch, das mit schwarzem Samt ausgekleidet und vorne mit einer gläsernen Wand versehen ist, vor der sich die fotografische Apparatur befindet. An der Unterseite des Gefäßes ist ein Ventilator angebracht, der den – durch die Verbrennung von Stoff erzeugten und durch ein Rohrsystem an der Oberseite in das Gefäß eingeleiteten – Rauch ansaugt. Bevor der diffuse Rauch in das Gefäß eintritt, wird er durch eine Vorrichtung aus in regelmäßigen Abständen angebrachten Röhrchen geleitet, die den Rauch „wie die Zähne eines Kamms“ in einzelne, sehr feine und parallele Rauchfäden teilen.³⁰ Die Parallelität der Rauchfäden, die Marey mit den „Saiten einer Lyra“ oder eines Klaviers vergleicht, zeigt an, dass der Luftstrom sich gleichmäßig und ohne Verwirbelungen bewegt. An der Rückwand des Gefäßes werden Objekte verschiedener Form befestigt, auf welche die Rauchfäden treffen sollen.^{5.6.7.8}

Unsichtbar für die Kamera produziert das Abbrennen eines Magnesiumfadens in einer Kammer an der Seite des Gefäßes einen Lichtblitz, der, wie Marey formuliert, „so kurz sein sollte, dass jeder Rauchfaden so erscheint als sei er unbewegt“.³¹ An einer anderen Stelle spricht Marey davon, dass der Blitz die Luft „in ihren kapriziösen Mäandern, die sie dort beschreiben, wo sich Verwirbelungen ergeben, überrascht“.³² Das Moment der Überraschung, das Marey hier ausmacht, ist Ausdruck der Schockwirkung der Fotografie, die sich wie ein Geschoss den Phänomenen entgegenbewegt³³ und welche die Wirbelbewegungen als Bildobjekte nicht ihrem Verlauf, ihrer Kontemplation überlässt, sondern diesen unterbricht, um die Bewegung in einem Moment festzuhalten, in dem das „nackte Auge“ sie nicht fixieren kann. „Ich stelle mir vor [...],“ schreibt Roland Barthes in seinen *Bemerkungen zur Photographie*, „daß die wesentliche Handlung des *operator* darin besteht, etwas oder jemanden zu

34 / Roland Barthes: *Die helle Kammer. Bemerkungen zur Photographie*, Frankfurt a. M. 1985, S. 41f.

35 / Vgl. Marey, La Chronophotographie, S. 690. Zu den automatischen Aufzeichnungsapparaturen Mareys vgl. Wolfgang Schäffner: „Bewegungslinien. Analoge Aufzeichnungsmaschinen“, in: ders. u. a. (Hg.), *Electric Laokoon. Zeichen und Medien, von der Lochkarte zur Grammatologie*, Berlin 2007, S. 58–76.

36 / Marey, La méthode graphique, S. 1–VI.

37 / Lorraine Daston / Peter Galison: „Das Bild der Objektivität“, in: Geimer, Ordnungen der Sichtbarkeit, S. 29–99.

38 / Vgl. William Henry Fox Talbot: *The Pencil of Nature* [1844–1846], New York 1969.

überraschen (durch das kleine Loch im Gehäuse)[...]. Dieser Handlung entstammen eindeutig all jene Photos, deren Prinzip [...] der ‚Schock‘ ist; denn der photographische ‚Schock‘ besteht [...] weniger darin, das, was so gut verborgen war, daß der Agierende selbst dessen nicht gewahr wurde oder es ihm nicht bewusst war, zu traumatisieren, als es vielmehr zu enthüllen“.³⁴

Was sich dem Kameraauge enthüllt, offenbart sich ihm – Mareys Ideal nach – ‚von selbst‘, denn er begreift die Chronofotografie, analog zu seinen grafischen Aufzeichnungsapparaturen, als autografisches Verfahren, mittels dessen sich die beobachteten Phänomene selbsttätig aufschreiben.³⁵ Das Experiment bildet bei Marey lediglich den Rahmen, die Phänomene für sich selbst sprechen zu lassen und diese „Sprache der Phänomene“ einzufangen.³⁶ Auf diese Weise produzieren die Phänomene ihre eigene Semiose, die Übersetzungsleistung der Apparate wird zu einem autopoietischen Akt: Es ist die Natur, die sich gleichsam selbst ins Bild setzt. Mit den selbstaufzeichnenden Instrumenten entsteht ein neuer Typ wissenschaftlicher Objektivität, eine „mechanische Objektivität“³⁷, der eine Ökonomie des Experimentierens fundiert, die sich an den Idealen der Autonomie, Schnelligkeit, Genauigkeit und Klarheit ausrichtet. Vor allem in der Fotografie, die Henry Fox Talbot als „Pencil of Nature“ beschreibt³⁸, verknüpft sich diese Ökonomie des Experimentierens mit einem ästhetischen Moment, das in der Suggestion der Autorlosigkeit und der Autopoiesis der Phänomene aufgeht.

IV.

Doch die Sprache der Phänomene ist nicht immer so klar, wie Marey sich dies erhofft. In Experimenten mit einer längeren Belichtungsdauer (von einer bis hin zu sieben Sekunden) zeigt sich zwar ein deutlich

39 / Marey, *Les mouvements de l'air étudié par la chronophotographie*, S. 234.

40 / In *La méthode graphique* formuliert Marey: „Alles, was der Geist exakt erfassen und messen kann, findet graphisch seinen klaren und genauen Ausdruck [...]“. Marey, *La méthode graphique*, S. 1.

41 / René Descartes: *Discours de la méthode*, Hamburg 1997, S. 31.

42 / Schäffner, *Bewegungslinien*, S. 133.

intensiveres, hinsichtlich der Luftwirbel jedoch unscharfes Bild, eine «nuage confus de fumée».³⁹ Die Verwirbelungen nehmen nicht die Gestalt kapriziöser Mäander und flüchtiger Ondulationen an, sondern erscheinen in undeutlichem Grau. Erst die Verkürzung der Belichtungsdauer bringt Wirbel zur Erscheinung, die sich klar und deutlich als Formen in Bewegung abzeichnen. In diesem Sinne macht Marey in seinen Artikeln eine Unterscheidung zwischen *tourbillon*, einer Form des Wirbels, die als geformte Bewegung bei regelmäßigen Luftströmen an der Unterseite der Objekte entsteht, und den *remous* als Wirbeln, die er als Störungen und Turbulenzen der Experimentalanordnung wahrnimmt und die es zu unterdrücken gilt. So besehen, stellen die *tourbillons* Effekte der fotografischen Technik und der Schnelligkeit der Belichtung dar. Sie sind mediale Ereignisse, die durch technische Bemeisterung zur Erscheinung gebracht werden, und zwar durch das vom Blitz ausgelöste Moment der Differenzierung von jener anderen, unscharfen und chaotischen Form des Wirbels, den *remous*.

Mareys methodisches Ideal einer *clarté* und *précision*,⁴⁰ dem seine Aufzeichnungsverfahren folgen und das die Physiologie als exakte Wissenschaft begründen sollte, kann bis zu jenen Grundregeln zurückverfolgt werden, die Descartes in seinem *Discours de la méthode* (1637) als Leitfaden sicherer Erkenntnis definiert: „Die erste [Hauptregel] besagte, niemals eine Sache als wahr anzuerkennen, von der ich nicht evidentermaßen erkenne, daß sie wahr ist: d. h. [...] über nichts zu urteilen, was sich meinem Denken nicht so klar und deutlich darstellte, daß ich keinen Anlaß hätte, daran zu zweifeln.“⁴¹ „An die Stelle von Descartes' klaren und einfachen Ideen als Ausgangspunkt wissenschaftlicher Verfahren“, so formuliert Wolfgang Schäffner, „treten bei Marey die Graphen“⁴² und Bilder. Der Imperativ wissenschaftlichen Wissens – *clare* und *distincte* – wird durch die Wirbel, die Marey zur Erscheinung bringt, und ihrem

43 / Marey, *Les mouvements de l'air étudié par la chronophotographie*, S. 233.

44 / Henry S. Hele-Shaw: „The Motion of a Perfect Liquid“, in: *Nature* 7. September (1899), S. 446–451, hier S. 446.

Oszillieren zwischen Schärfe und Unschärfe auf die Probe gestellt. Die Natur bildet sich als unscharfes Bild ab. Doch Unschärfe stellt in Mareys Experimentalanordnung einen Mangel dar, der durch Schärfung zu überwinden ist.

Die erste Herausforderung der Experimentalanordnung stellt mithin die Erzeugung eines regelmäßigen Luftstroms ohne Turbulenzen dar. Wird Rauch in das Gefäß eingeleitet, so verwirbelt die sichtbar gemachte Luft auf kapriziöse Weise. Um diese Wirbel [*remous*] auszuschalten, ersinnt Marey das Verfahren einer Art „Filtrierung“ des Rauchstroms durch feine Seidengazen, die über einen Holzrahmen gespannt werden. Damit der unten am Gefäß angebrachte und die Rauchfäden ansaugende Ventilator nicht ebenso zum «cause de troubles» werden kann, befinden sich auch an der Unterseite Gazen aus Seide, die den Luftstrom regulieren.⁴³

Der britische Physiker Hele-Shaw, der ebenso wie Marey Phänomene des Wirbels untersucht, ersinnt für diese Ausgrenzung von Turbulenzen aus dem Experiment ein bemerkenswertes Bild, das Wasser- und Luftströme mit Menschenströmen vergleicht:

„Sie werden sicher sofort zustimmen, dass es hoffnungslos ist, unter solchen [turbulenten] Bedingungen eine Untersuchung über das Strömen des Wassers zu beginnen, und wir fragen uns natürlich, ob es nicht Situationen gibt, in denen die Bewegung sehr viel einfacher ist? Dies wäre der Fall, wenn das Wasser sich sehr langsam in einem absolut ebenen und parallelen Flussbett bewegte, sodass die Teilchen in Linien, die Stromlinien genannt werden, nacheinander folgen, und wenn der Wasserstrom wie der Marsch einer disziplinierten Armee wäre und nicht wie die Bewegung einer ungeordneten Menschenmenge [...]“⁴⁴

Mit Michel Serres kann der von Hele-Shaw ins Bild gefasste Übergang des Wasserstroms von einer ungeordneten Menschenmenge in eine disziplinierte Armee als Unterscheidung zwischen *turba* im Sinne „einer Vielheit [*multitude*], einer großen Population, eines Durcheinanders und Tumults“, und *turbo*, „einer runde[n] Form in Bewegung“, gelesen

45 / Serres, *La naissance*, S. 38f.

46 / Ebd., S. 40.

47 / Marey, *Changements de direction*, S. 1296.

werden.⁴⁵ Analog dazu macht die französische Sprache eine Unterscheidung zwischen *turbulence* und *tourbillon*. Der Übergang, die Grenze zwischen beiden Zuständen ist sehr fein, zuweilen unscharf, verschwommen: So schreibt Serres, dass der „Wirbel, instabil und stabil, schwankend und im Gleichgewicht, Ordnung und Unordnung zugleich“ sei.⁴⁶ Zuordnungen, wie die von Kunst und Wissenschaft, beginnen an diesen Unschärfen zu fluktuieren, zu verwirbeln. Ist die Wissenschaft das Geordnete, Konzierte, und ist die Kunst das Unschärfe, Verwirbelte? Oder kann es sich auch anders verhalten? Statt auf Ausgrenzung von Turbulenzen und die Eindeutigkeit von Anordnungen, wie sie Marey und Hele-Shaw denken, zielt Serres mit dem Modell des Wirbels – seinen Unschärfen, Unbestimmtheiten, Mehrdeutigkeiten – gerade auf eine Steigerung von Komplexität und die Auflösung von Dualismen hin zu einer Pluralität.

Gründete sich die grafische Methode als (scheinbar) neutrale und exakte Apparatur der Registrierung und Übersetzung von Bewegungsphänomenen in Form einer Kurve auf Descartes' analytische Geometrie, so scheint mit den Verwirbelungen der Rauchfäden in der *Machine à fumée* eine Abundanz bewegter Formen in das Experiment einzubrechen, die sich dem Modell der Geometrie und dem Ideal der *clarté* entziehen. In ihrer Kontingenz und Metamorphose unterminieren sie die von Marey angestrebte Exaktheit der Apparaturen:

„Als Beweis der Präzision meiner Methode wird man, denke ich, die Tatsache anerkennen, dass, wenn man das Experiment zweimal nacheinander unter Beibehaltung der gleichen Bedingungen durchführt, die gewonnenen Bilder an allen Stellen identisch und deckungsgleich sind, außer im Bereich der Verwirbelungen.“⁴⁷

Hier zeigt sich: Die perfekte Parallelität der Ströme ist lediglich als eine ideale Konstruktion zu betrachten, die sich *en théorie* aufrechterhalten lässt – in der Erfahrung und im Experiment [*expérience*] bildet diese nur

48 / François Dagognet: *Etienne-Jules Marey. A Passion for the Trace*, New York 1992, S. 11.

49 / Gaston Bachelard: *Der neue wissenschaftliche Geist*, Frankfurt a. M. 1988, S. 18.

50 / Étienne-Jules Marey: „Nécessité de créer une commission internationale pour l'unification et le contrôle des instruments inscripteurs physiologique“, in: *Journal of Physiology* 23 (1898/99), S. 7.

51 / Nicht zufällig sind diese als Apotheose seines Werks bezeichnet worden. Vgl. Mannoni, Marey Aéronaute, S. 7.

52 / Marey, Des mouvements de l'air, S. 161.

53 / Im Übrigen wurden diese nicht von ihm selbst, sondern durch seine Assistenten Kossonis und de Lostalot durchgeführt.

eine Insel in einem turbulenten Meer. „Das Turbulente, Unerwartete und Mannigfaltige wird durch die Instrumente an allen Seiten freigesetzt“,⁴⁸ schreibt François Dagognet, durch jene „Phänomenotechnik“⁴⁹ also, deren Einsatz gerade der Sortierung, Filterung, Reinigung und Vereinfachung der Phänomene im Experiment dient. Dagognet interpretiert die Turbulenzen als Moment des Spielerischen, das in Mareys Werk Einzug hält. Mareys Bemühungen hinsichtlich der Präzisierung und Standardisierung der Aufzeichnungsapparaturen und -methoden, die 1898 zur Gründung des Institut Marey führen, das als „eine Art Kontrollbüro für die existierenden Instrumente“⁵⁰ fungieren sollte, sind dennoch ein Hinweis dafür, dass es ihm in seinen Experimenten mit dem extrem flüchtigen Phänomen der Luft⁵¹ einmal mehr um die Erprobung der Exaktheit seiner Methoden ging.

Aus dieser Perspektive besehen, erzeugen die Luft-Wirbel epistemische Turbulenzen, die Mareys auf Präzision und Messbarkeit angelegtes Experimentalsystem grundlegend auf die Probe stellen und ihn dazu führen, die Aufgabe der Interpretation bereits in seinem ersten Experimentbericht an seine Kollegen zu übergeben:

„Ich möchte die Aufmerksamkeit meiner Kollegen, vor allem derjenigen, die sich mit Fragen der Mechanik beschäftigen, erregen und sie bitten, die besten Bedingungen zu erforschen, unter denen verlässliche Bilder des Verhaltens der Luft beim Auftreffen auf feste Körper verschiedener Form produziert werden können. Außerdem bitte ich sie, mich über die mechanische Interpretation jener Figuren aufzuklären, die nichts als die kinematischen Tatsachen des Problems darstellen, das ich zu lösen suche.“⁵²

Zweifelsohne bestechen die Versuche mit der *Machine à fumée* durch ihre Einzigartigkeit. Im Kontrast dazu steht jedoch die Tatsache, dass die Luftexperimente nur eines von mehreren Forschungsprojekten darstellen, die Marey um 1900 verfolgt.⁵³ Erkennbar werden aber auch die technischen

54 / Nur durch eine von Langley vermittelte Unterstützung durch das Smithsonian Institute, Washington, war es Marey möglich, seine Experimente mit der *Machine à fumée* fortzuführen. Über die Frage, inwiefern sich die Fortsetzung der Experimente vor allem der Gewährung dieser finanziellen Mittel verdankt, kann nur spekuliert werden, schreibt Marey doch an Langley, dass er sich eigentlich mit Physiologie des Radfahrens beschäftigen wolle und ursprünglich dafür Gelder beantragte. Vgl. Marta Braun: *Picturing Time. The Work of Étienne-Jules Marey (1830–1904)*, Chicago / London 1992, S. 214.

55 / Zit. n. ebd.

und methodischen Herausforderungen, die sich mit der Konstruktion der Apparatur und der Interpretation der Versuchsergebnisse einstellen. Neben finanziellen Engpässen und Mareys Gesundheitszustand sind es nicht zuletzt die unerwünschten und zu eliminierenden Turbulenzen der Luft selbst, die immer wieder Mareys technische Raffinesse beanspruchen und dazu führen, dass die Apparatur ‚unfertig‘ bleibt und die Experimentserie nicht fortgesetzt wird.⁵⁴ „Meine unzureichende Kenntnis in der Mathematik“, schreibt Marey an Samuel Langley, „macht es mir unmöglich, das Feld des Experimentierens zu verlassen. Die Unfähigkeit, bestimmte experimentelle Ergebnisse, wie jene der Rauchfäden, über die ich Ihnen berichtet hatte, zu interpretieren, behindert mich in meiner Arbeit. Diese geht nur sehr langsam voran.“⁵⁵

Turbulenzen können demnach nicht nur als meteorologische Phänomene begriffen werden, denen Marey und andere im Rahmen der Turbulenzforschung um 1900 auf die Spur kommen wollten. Die Luftexperimente Mareys zeigen ebenso, dass die mithilfe der *Machine à fumée* erzeugten Wirbel und Turbulenzen Mareys auf Klarheit orientierte experimentelle Praxis selbst grundlegend zu irritieren vermögen. In diesem Sinne erscheinen die *tourbillons* und *turbulences* bei Marey als ein Prinzip der Un- und Umordnung, das Verschiebungen innerhalb der etablierten topologischen Ordnung von Kunst und Wissenschaft in Gang setzt, indem diese ein Moment der Unschärfe in die experimentelle Praxis implementieren.

Folgt man Michel Serres, so stehen Wirbel und Turbulenzen am Beginn der modernen Physik um 1900 – einer Zeitgrenze. In *Hermes IV. Verteilung* beschreibt er die Auflösung fester Strukturen in der Physik in der Zeit um die Jahrhundertwende und fasst diesen Prozess als etwas, das als „Fluidisierung“ von Wissensmodellen gefasst werden kann. Diese Fluidisierung findet jenseits der Physik in Strömungs- und Wirbelmetaphern

56 / Christoph Asendorf: *Ströme und Strahlen. Das langsame Verschwinden der Materie um 1900*, Gießen 1989, S. 133.

ihren Ausdruck, die „das Schillern und ständige Sich-Verändern der Wahrnehmung, den Fluss der Dinge und Empfindungen“⁵⁶ bezeichnen (z. B. Henri Bergsons Begriff des *élan vital*). Enthüllt eine Nahaufnahme der experimentellen Praxis Mareys zwar die Grenzen seiner positivistisch orientierten Bewegungswissenschaft, auf die er im Kontakt mit den Luftwirbeln stößt, so zeigt sie zugleich auch, dass seine Luftexperimente durchaus als Zeichen einer Fluidisierung des Wissens gelesen werden können, die ins 20. Jahrhundert weist.